

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

**Porovnání způsobů měření parametrů provzdušnění
v provzdušněných betonech**

**The comparsion of methods of air – content measurement in
aerated concrete**

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Zdeněk Kuliš
Ing. Jiří Šafrata

Ostrava 2010

Prohlašuji, že

-byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

-beru na vědomí, že VŠB – TUO má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3 zákona č. 121/2000 Sb.)

-souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

-bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

-bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

-beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., O vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce ing. Jiřímu Šafratovi za pomoc při jejím zpracování, za rady, poskytnuté materiály a získání nadhledu během práce. Moje poděkování patří taktéž firmě BASF Stavební hmoty s.r.o. ČR za poskytnutí potřebných materiálů..

ANOTACE

Kuliš, Z. *Porovnání způsobů měření parametrů provzdušnění v provzdušněných betonech*.
Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – TUO Ostrava, Fakulta stavební, 2010.

Klíčová slova: provzdušněné betony, spacing faktor, obsah vzduchu, metody zkoušení

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu, porovnáním zkušebních metod. Práce je věnována porovnání postupů měření a jejich vzájemné korelace s metodou stanovení spacing faktoru na čerstvém betonu. Kapitoly v bakalářské práci popisují jednotlivé metody zkoušení a postup stanovení spacing faktoru na čerstvém betonu. V závěru je uvedeno srovnání výsledků a doporučení.

ANOTACE

Kuliš, Z. *The comparison of methods of air – content measurement in aerated concrete*.
Bachelor work. Ostrava: VSB – TUO Ostrava, Faculty of building, 2010.

Keywords: aerated concrete, spacing factor, air content, test methods

This bachelor work deals with matters of determination of air content in fresh concrete by comparison of test methods. This work compares the particular test methods and their correlations to the method of determining of spacing factor in fresh concrete. The chapters of bachelor work describe the particular test methods and also the procedure of determination of air voids parameters of fresh concrete. The results comparison and some recommendations are given in conclusion.

Obsah

ÚVOD.....	3
1.1. Hlavní důvody cíleného provzdušnění čerstvého betonu.....	3
1.2. Historie prvního použití provzdušňující přísady do betonu	4
1.3. Příčiny poškození ztvrdlého betonu mrazem.....	6
1.4. Související pojmy s výrobou provzdušněných betonů.....	6
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	13
2.1. Výroba provzdušněných betonů a hlavní zásady postupu míchání.....	13
2. 1.1 Intenzita míchání.....	13
2. 1.2 Doba míchání.....	14
2. 1.3 Konzistence betonu.....	15
2. 1.4 Teplota betonu.....	15
2. 1.5 Druhy cementů.....	16
2. 1.6 Příměsi do betonu.....	16
2. 1.7 Doba a pořadí dávkování	16
2. 1.8 Složení směsi.....	17
2. 1.9 Doba zpracování.....	17
2. 1.10 Zpracování provzdušněného betonu.....	18
2. 1.11 Ošetřování po uložení čerstvého betonu.....	18
2.2. Shrnutí a doporučení.....	19
3. Popis zkoušek měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu.....	20
3.1.1 Měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu tlakovou metodou.....	20
3.1.2. Měření obsahu vzduchu metodou vodního sloupce.....	22
3.1.3. Měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu pomocí přístroje.....	24
Air void analyzer (AVA)	
3.4. Shrnutí porovnání metod zkoušek.....	34
4. Porovnání metod měření vzduchu.....	35
5. ZÁVĚR.....	37

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A NOREM.....	38
SEZNAM PŘÍLOH.....	39
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	40
SEZNAM GRAFŮ.....	41
SEZNAM TABULEK.....	42

1. Úvod

1.1 Hlavní důvody cíleného provzdušnění čerstvého betonu.

Jako na každém začátku si můžeme položit otázku. Proč je potřeba provzdušnit čerstvý beton ? Odpověď na tuto otázku si můžeme snadno najít sami.

V dnešní době s rozmachem stavební výroby se začalo s návrhy moderních konstrukcí, které vyžadují stále vyšší a vyšší nároky v oblasti pevností , estetiky a především trvanlivosti a životnosti. Pro betonové konstrukce vystavené přímo povětrnosti, působení agresivní atmosféry a dalších chemických prostředků se stává rozhodujícím faktorem odolnost betonu nejen jako konstrukčního materiálu, ale též jako hlavní ochrana ocelové výztuže. Vzhledem ke geografické poloze naší republiky hraje odolnost betonu velmi významnou roli hlavně proti účinkům mrazu a působení chemických rozmrazovacích látek (v literatuře uváděné jako CH.R.L.). Za tyto látky považujeme běžné používané rozmrazovací soli na bázi chloridů.

1.2. Historie prvního použití provzdušňující přísady do betonu

Byl anebo nebyl první? Je zbytečné o tom uvažovat a mnoho neuveřejnit. Jen jedno je zřejmé: Heinrich Woermann byl *průkopníkem* německé chemie do betonu, podnikatelem a hybnou pákou progresivních betonářských technologií. Zavedl do "našeho" oboru něco nového. Něco, čím snad přispěl k tomu, aby se stal beton tím, čím dneska je: nejvíce používanou stavební hmotou, která je výhodná, trvanlivá a téměř libovolně tvárná. Materiálem, bez kterého se dnes ve stavebnictví neobejdeme.

V roce 1948 měl Heinrich Woermann zvláště vnímavý sluch pro to, co mu nabízeli oni "představitelé" amerických chemických firem. Jednalo se o surovinu z USA, o základní pryskyřici, která se musela promýt louhem sodným a rozpustit ve vodě, aby získala tzv. schopnost tvorby vzduchových pórů. Tak mohly v betonu vzniknout malé vzduchové póry, ve kterých se mohla zmrzlá voda rozpínat. Stal se tak říkajíc porézním. A přesně tím je beton chráněn před škodami způsobovanými mrazem. Heinrich Woermann měl cit pro inovaci – vlastnost, která později formovala jeho práci. Jak nezvykle a futuristicky musely

takové myšlenky tehdy působit v zemi, která ještě stále ležela v rozvalinách. Kdo měl vizionářský pohled do budoucna a odvalu prosazovat nové, tomu se otevíraly velké šance na prožití společného úspěchu, na vítězné cestě stavební obnovy.

V roce 1949 - Heinrich Woermann zakládá podnik, který se zabývá prodejem přísad na provzdušňování betonu.

V roce 1951 – se pomocí přísad na provzdušňování betonu se budují první silnice odolné proti mrazu a soli.

Heinrich Woermann převzal odbyt základní pryskyřice a výrobu provzdušňovací přísady, kterou zavedl v Německu na trh pod označením *Mischöl VR*. Z dnešního pohledu se již tehdy zaskvěl svými myšlenkami na zlepšení kvality betonu, které zcela zaujímaly jeho mysl. Jeho práce se ponenáhlu stává jeho životním dílem a životním úkolem, kterému se upsal a do kterého investoval všechn svůj um. Kromě svého podnikatelského ducha vynikal zejména pozoruhodnou schopností přesvědčovat ostatní. Gerhard Streit, stavitel, někdejší poradce pro průmyslové odvětví na výrobu cementu, známý v severním Německu jako "papež betonu", popisoval svůj dojem z Heinricha Woermann takto:

Co mi pan Woermann oznámil, mne nemálo překvapilo. Nejdříve jsem měl přirozeně pochybnosti. Nikdo však nedovedl vyvracet mé pochyby jednoduchými argumenty lépe, než pan Woermann. Nebyla to jen mohutná postava, tohoto navrátilce ze světové války, která mě imponovala, nýbrž jeho přesvědčovací schopnost.

Heinrichu Woermannovi se podařilo získat pro své plány poradce pro výstavbu, ministerstva, zkušební ústavy materiálů, technology betonu, zkrátka všechny rozhodující orgány a v r. 1951 to bylo konečně tady. Na 2,3 km dlouhé pokusné dráze na silnici číslo 6 mezi Hannoverem a Hildesheimem byly vybudovány úseky v délce 120 m dílem bez a dílem za použití provzdušňovacích přísad.

Výsledek stručně shrnul Gerhard Streit:

Po každoročním silném posypu solí se na betonových úsecích, kde bylo použito provzdušňovacích přísad neukázala žádná poškození povrchu, zatím co se na úsecích, kde nebyly použity přísady se vesměs objevovala známá odprýskávání.

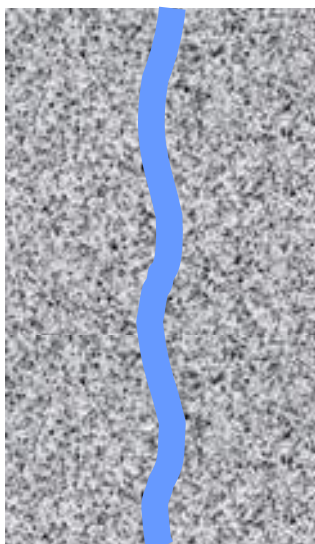
Výsledek pokusů se stal v roce 1953 podnětem k vydání „Návodu na používání provzdušňovacích přísad na výstavbu betonových silnic“. Již brzy na to předepisovaly téměř všechny evropské směrnice používání provzdušňovacích přísad na stavbu betonových vozovek. Vítězné tažení provzdušňovacích přísad začalo.

1.3. Příčiny poškození ztvrdlého betonu mrazem

Základním mechanismem pro narušení struktury betonu mrazem je podmínka přítomnosti vody ve ztvrdlém betonu. Při poklesu teploty prostředí pod bod mrazu se voda, která se vsákla do pórů a kapilár betonu mění na led. Proces přechodu vody ze skupenství tekutého na skupenství tuhé je doprovázen zvětšením objemu o cca 9% při vzniku krystalizačního tlaku, který způsobuje narušení betonu. Zmrzlý povrch betonové konstrukce po aplikaci rozmrazovacích látek začíná tát, ale teplo potřebné k dalšímu tání je odebíráno z okolí, zejména z hlubších vrstev betonu pod povrchem konstrukce, ve kterých dochází k intenzivnímu ochlazení. Při postupném klesání teploty vzduchu a s tím i teploty betonu směrem do hloubky konstrukce se vytvoří kombinace vrstev roztátého a zmrzlého betonu a při dalším poklesu teplot pak dochází k charakteristickému poškození povrchu betonu. Porušení povrchu betonu se projeví odprýsknutím vrstvičky z povrchu betonu. Chemické a rozmrazovací látky používané v zimním období se vyznačují vysokou koncentrací solí, které jsou schopny proniknout do kapilárních pórů snadněji než voda s nízkým obsahem solí. Tento proces vede k vyššímu nasycení kapilárních pórů ve struktuře betonu a tím se zvyšuje nebezpečí destrukce struktury rostoucím tlakem zmrznutím kapilárního roztoku.

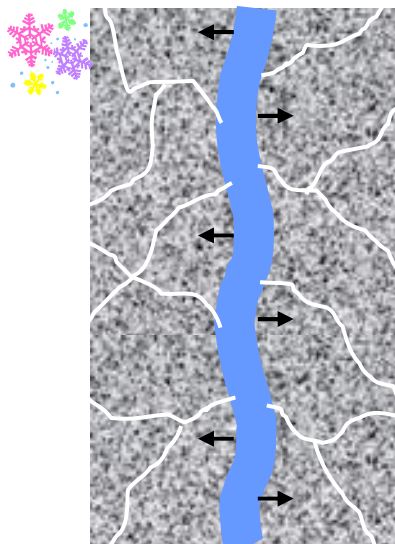
Obrázek 1.

Kapalinou naplněné kapilární póry v cementové matrici



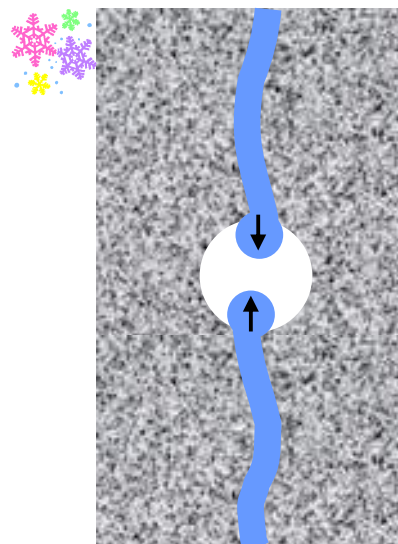
Obrázek 2.

Tlakem mrazu vznikající trhliny v cementové matrici



Obrázek 3.

Zvětšení průměru kapiláry kulovým pórem může snížit tlak vzniklý mrazem



Příklad typického narušení povrchu betonové konstrukce vystavené působení mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám je porucha povrchové vrstvy konstrukce mostní římsy. Viz Obrázek 4.

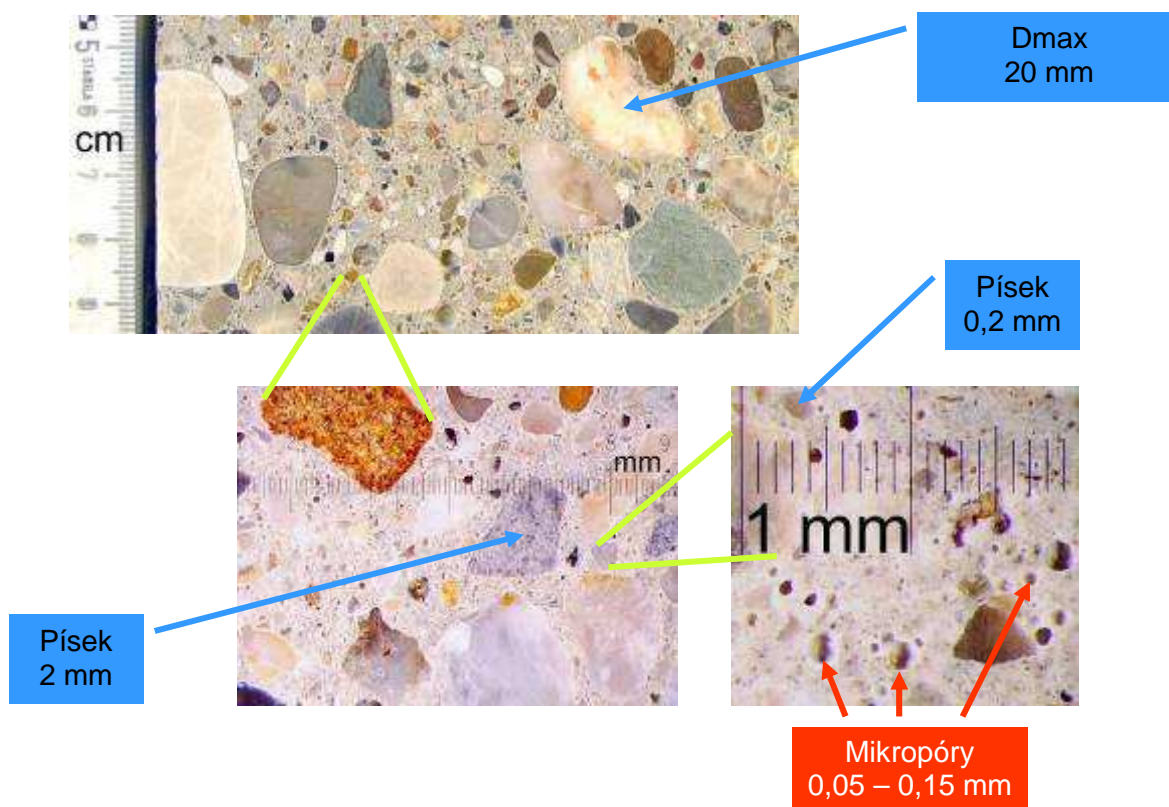


Obrázek 4.

1.4. Související pojmy s výrobou provzdušněných betonů

Provzdušněný beton je beton, do kterého jsou pomocí provzdušňujících přísad vneseny v čerstvém stavu přesně definované póry. Tyto póry zůstávají zachovány i ve ztvrdlém betonu kde vytvářejí prostory, do kterých může expandovat tvořící se led a tím eliminují jeho destruktivní účinky. Pro vysokou odolnost betonu je rozhodující velikost

vnesených vzduchových mikropórů, jejich rovnoměrné rozdělení v betonu a celkový objem. Hodnoty těchto parametrů jsou uvedeny v příslušných normách.



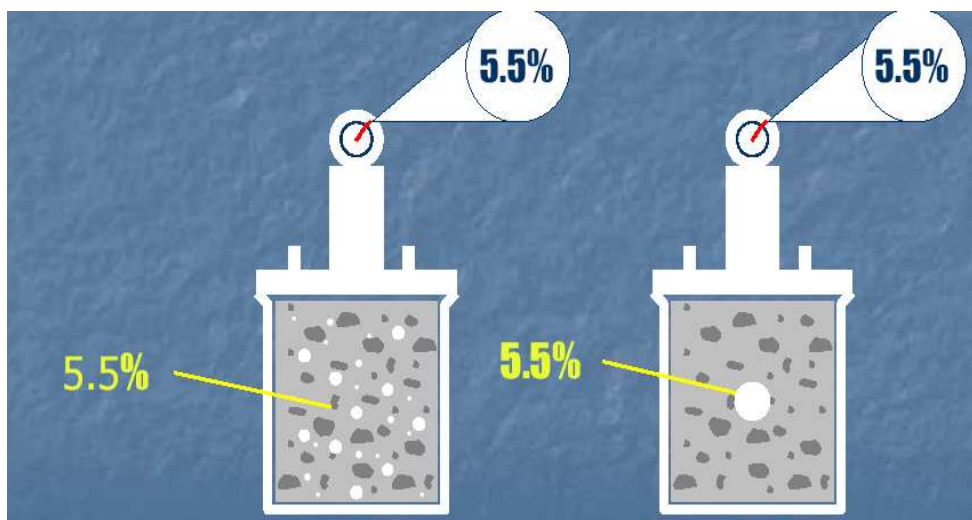
Obrázek 5. Řez strukturou ztvrdlého betonu

Provzdušňující přísada je látka, která po přidání během míchání čerstvého betonu, vytváří ve velkém počtu uzavřené vzduchové póry jemně rozptýlené v betonu. Tyto póry mění strukturu cementového kamene, porušují síť kapilár. Provzdušněním vytvořené vzduchové póry jsou expanzním prostorem pro zvětšující se objem krystalů ledu a solí, a snižují hydrostatický tlak v pórovité struktuře.

Obrázek 6. Základní typy surovin používaných při výrobě provzdušňujících přísad

	surovina	vlastnosti
přírodní	pryskyřice	<ul style="list-style-type: none"> • cca. 50 % vzduchových mikro pórů • póry jsou méně stabilní • omezená dostupnost
syntetická	syntetické tenzidy	<ul style="list-style-type: none"> • cca. 80 % vzduchových mikro pórů • póry jsou více stabilní • neomezená dostupnost

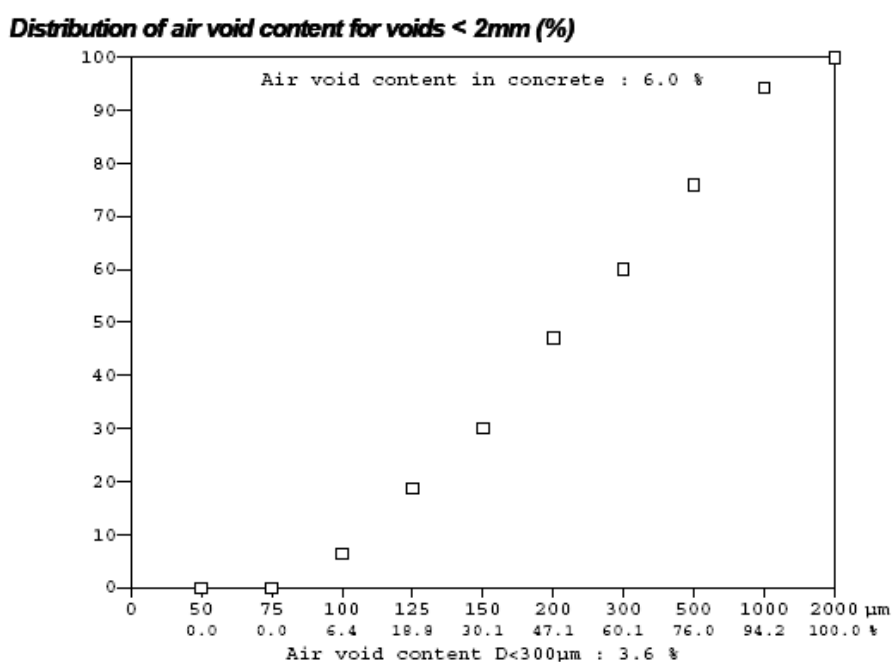
Obsah vzduchu v čerstvém betonu je hodnota změřená pomocí zařízení pro stanovení obsahu v čerstvém betonu – hrnec pro tlakovou metodu. Obsah vzduchu v čerstvém betonu se stanoví podle ČSN EN 12350 – 7 [7].



Obrázek 7. Měření obsahu vzduchu – rozdíl ve velikosti vzduchových pórů při stejně naměřené hodnotě

Vzduchový pór (air void): prostor ohraničený cementovým tmelem, vyplněný vzduchem nebo jiným plynem před ztuhnutím tohoto tmele. Definice se nevztahuje k pórům submikroskopických rozměrů, jako je pórovitost vlastního cementového tmele. Pro účely této zkušební metody se berou v úvahu všechny vzduchové póry v cementovém tmelu, viditelné při zkušebním zvětšení, s délkou tětiny maximálně 4 mm, pokud nejsou zřejmými trhlinami.

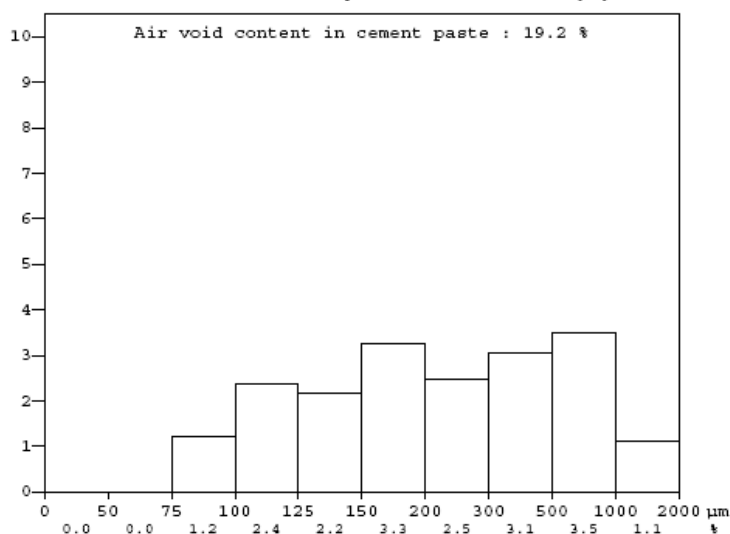
Obsah mikroskopického vzduchu A_{300} (micro air content A_{300}): vypočítaný parametr představující obsah vzduchu přiřazený vzduchovým pórům o průměru 0,3 mm (300 μm) a menším. Hodnota tohoto parametru se získá při výpočtu rozdělení vzduchových pórů. Viz ČSN EN 480 – 11 [10].



Obrázek 8. Graf obsahu účinného vzduchu v měřeném vzorku čerstvého betonu

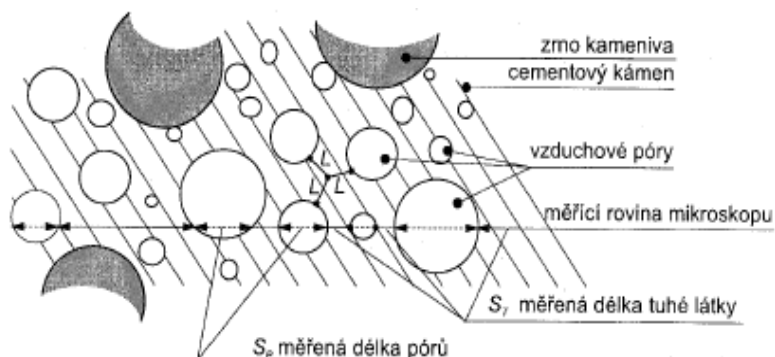
Rozdělení (distribuce) vzduchových pórů je objem vzduchových pórů různých průměrů ve ztvrdlém cementovém tmelu

Distribution of air void content in cement paste for voids < 2mm (%)



Obrázek 9. Graf distribuce rozložení vzduchových pórů pod velikost 2mm

Součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů L (spacing faktor L): vypočítaný parametr vyjadřující maximální vzdálenost jakéhokoliv bodu v cementovém tmelu od stěny nejbližšího vzduchového póru (jednotky jsou mm). Výpočet parametru předpokládá, že všechny přítomné vzduchové póry mají stejnou velikost a jsou v cementovém tmelu rovnoměrně rozloženy tak, že modelový systém má stejný celkový objem a plochu povrchu jako skutečný systém. Viz ČSN EN 480 – 11 [10].



Obrázek 10. Součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů

Měrný povrch systému vzduchových pórů α (specific surface of air void system α): vypočítaný parametr představující celkovou plochu povrchu vzduchových pórů dělenou jejich objemem; udává se v mm⁻¹. Použitá metoda výpočtu je založena na průměrné délce tětivy a platí pro jakékoliv systémy sférických pórů. Viz ČSN EN 480 – 11 [10].

Podstata zkušební metody uvedené v normě ČSN EN 480 – 11 [10].

Zkušební vzorky pro analýzu se zhotoví rozřezáním vzorku ztvrdlého provzdušněného betonu, řez se vede kolmo k horní povrchové ploše vzorku. Tyto vzorky se potom brousí a leští tak, aby se vytvořil hladký rovný povrch vhodný pro zkoumání mikroskopem. Struktura vzduchových pórů se zjišťuje podrobným snímáním podél řady měřicích přímek, vedených rovnoběžně s původním horním povrchem vzorku. Počet vzduchových pórů protnutých měřicími přímkami se zaznamená, stejně tak jako jednotlivé délky tětivy. Matematická analýza zaznamenaných dat poté umožňuje popis systému vzduchových pórů z hlediska požadovaných parametrů. Jiné metody analýzy vzduchových pórů, např. metoda sčítání bodů, se mohou použít za předpokladu, že se u nich dá prokázat, že pro požadované parametry vzduchových pórů poskytnou v podstatě stejné výsledky jako zde popsaná metoda. V případě pochybností se musí použít v této normě popsaná metoda.

Určení stupně vlivu prostředí pro specifikaci požadované třídy betonu namáhaného střídavým působením mrazu a rozmrazování . Požadovaný stupeň prostředí se určuje podle použití budoucí konstrukce dle Tabulky NA.F.1 uvedené v normě ČSN EN 206-1 Změna Z3 Beton – Část 1 : Specifikace, vlastnosti , výroba a shoda (tabulka 1.) [6]

Tabulka 1.

BEZ NEBEZPEČÍ KOROZE NEBO NARUŠENÍ			
X0	pro beton bez výztuže nebo zabudovaných kovových vložek – všechny vlivy s výjimkou střídavého působení mrazu a rozmrazování, obrus nebo chemicky agresivního prostředí pro beton s výztuží nebo se zabudovanými kovovými vložkami – velmi suché		
KOROZE VLIVEM KARBONATACE		KOROZE VLIVEM CHLORIDŮ, NE VŠAK Z MOŘSKÉ VODY	
XC1	suché nebo stále mokré		
XC2	mokré, občas suché	XD1	středně mokré, vlhké
XC3	středně mokré, vlhké	XD2	mokré, občas suché
XC4	střídavě mokré a suché	XD3	střídavě mokré a suché
STŘÍDAVÉ PŮSOBENÍ MRAZU A ROZMRAZOVÁNÍ		KOROZE VLIVEM CHLORIDŮ Z MOŘSKÉ VODY	
XF1	mírně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků	XS1	vystaven slaném vzduchu, ale ne v přímém styku s mořskou vodou
XF2	mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky	XS2	trvale ponořen ve vodě
		XS3	smáčený a ostříkaný přílivem
XF3	značně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků	CHEMICKÉ PŮSOBENÍ	
		XA1	slabě agresivní chemické prostředí
XF4	značně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou	XA2	středně agresivní chemické prostředí
		XA3	vysoce agresivní chemické prostředí
KOROZE VLIVEM MECHANICKÉHO PŮSOBENÍ (OBRUS)			
Pokud je beton vystaven pohyblivému mechanickému zatížení, musí být vliv prostředí odstupňován následovně:			
XM1	mírné nebo střední namáhání obrusem :minimální požadavky, včetně pojezdu vozidly opatřenými pneumatikami	nosné vyztužené nebo nevyztužené průmyslové podlahy pojižděné vozidly s pneumatikami	
XM2	silné namáhání obrusem : provoz vysokozdvížných vozíků, obrus unášenými splaveninami při malé rychlosti vody	nosné vyztužené nebo nevyztužené průmyslové podlahy pojižděné vozidly s pneumatikami nebo celogumovými koly vysokozdvížných vozíků	
XM3	velmi silné namáhání obrusem : častý pojezd pásovými vozidly, otluk unášenými splaveninami vody při vysoké rychlosti vody	nosné vyztužené nebo nevyztužené průmyslové podlahy pojižděné vozidly ocelovými nebo umělohmotnými koly	
		vysokozdvížných vozíků plochy pojižděné pásovými vozidly vodní stavby vystavené intenzivnímu proudění vody	

2 Teoretická část

2.1 Výroba provzdušněných betonů a hlavní zásady postupu míchání

Vlivy na tvorbu vzduchových pórů

Rozvržení vzduchových pórů a obsah vzduchových pórů, které jsou vytvářeny pomocí provzdušňovací přísady, jsou závislé na značném počtu faktorů, které se částečně překrývají. Přehled faktorů ovlivňujících kvalitu vzduchových pórů je uveden v následující tabulce.

Hlavní faktory ovlivňující tvorbu vzduchových pórů	
<ul style="list-style-type: none"> • intenzita míchání • konzistence betonu • teplota betonu • kvalita provzdušňovací přísady • druh cementu • přísady do betonu • dávkování provzdušňovací přísady • složení směsi • doba odležení betonu • zpracování betonu • následné ošetření 	<ul style="list-style-type: none"> • kvalita mích. Agregátu • doba míchání • obsah vody, přísad • koncentrace surovin • příměsi • přísady • okamžik dávkování • způsob dávkování • obsah jemných podílů • obsah vzduchových pórů ve výchozí Směsi • způsob hutnění

2. 1.1 Intenzita míchání

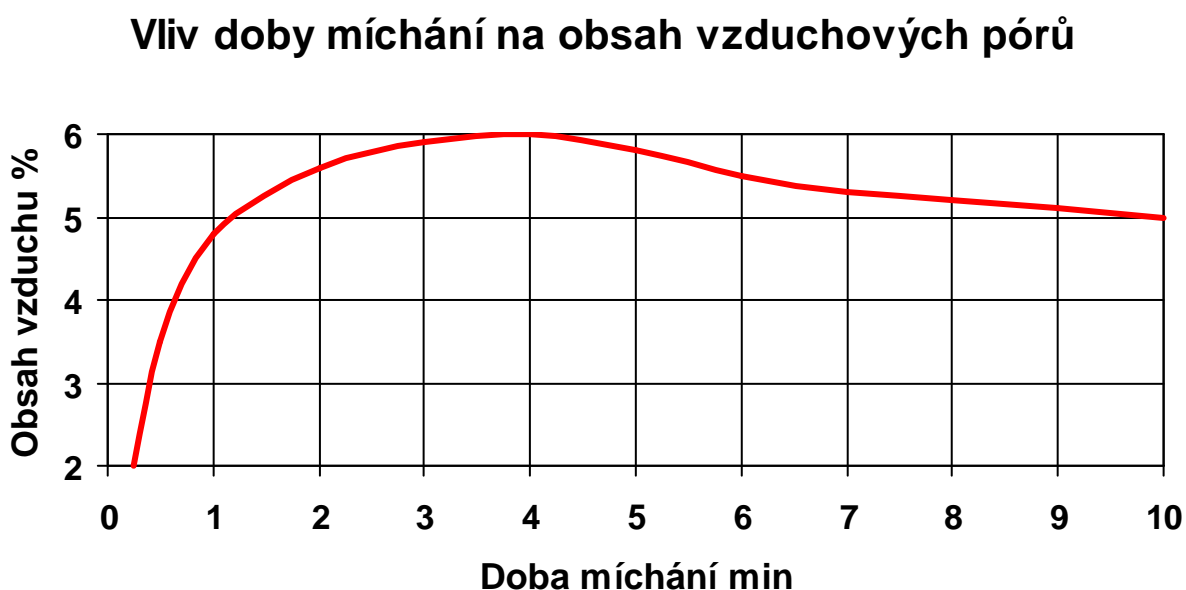
Samozřejmě je, že použitím míchačky s nuceným mícháním, talířové míchačky i dvouhrádelové míchačky je dosaženo dobré homogenity. Důležitá je pravidelná údržba opotřebovaných dílů (lopatky, obložení atd.), aby se pohyboval veškerý mísený materiál a nevznikly zóny, ve kterých by neprobíhalo dostatečné nebo vůbec žádné promísění. Podle zkušeností, získaných pozorováním a měření obsahu vzduchu v různých provozovnách, nemají dvě míchačky se stejnými systémy míchání porovnatelné hodnoty. Dochází k tomu díky různému opotřebení zařízení. Rozdílné opotřebení obložení, lopatek vzniká použitím odlišného kameniva při sestavování receptur pro výrobu čerstvého betonu, vytížením míchacího jádra (za vytížení považujeme množství vyrobeného betonu).

Není vhodné přidávat provzdušňovací přísady do automixů z hlediska nedokonalého rozmíchání. Účinnost míchání v automixech není dostatečná pro tvorbu potřebných vzduchových pórů.

2. 1.2 Doba míchání

Podstatný vliv na systém vzduchových pórů má délka míchání. Bude-li zvolena příliš krátká míchací doba, nemůže dojít ani při nejlepších mísicích zařízeních k dostatečnému rozložení provzdušňovací přísady. Zásadně se doporučuje doba minimálně 45 s po přidání provzdušňovací přísady. Bude-li mísení trvat dlouho, může dojít ke zvýšené tvorbě vzduchových pórů nebo díky přemísení k zmenšení množství vzduchových pórů.

Obrázek č. 11 Vliv doby míchání na obsah vzduchových pórů

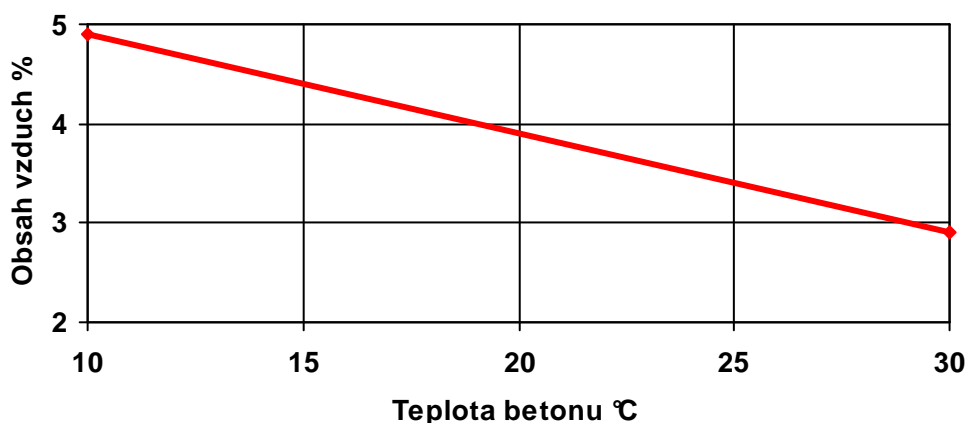


2. 1.3 Konzistence betonu

Jak bylo již dříve uvedeno pro působení provzdušňovací přísady, je k tvorbě vzduchových pórů nezbytné dostatečné množství vody proto, aby se systém vzduchových pórů mohl vytvořit. Pokud je obsah vody tak vysoký, že mezi pevnými částicemi vzniká vodní film, tak mohou vzduchové póry poměrně lehce, vlastním vztlakem beton opustit.

2. 1.4 Teplota betonu

Vliv teploty betonu na obsah vzduchu



Obrázek 12. Graf závislosti obsahu vzduchu na teplotě čerstvého betonu při stejné dávce provzdušňující přísady

V praxi to znamená, že s rostoucí teplotou čerstvého betonu při stejné dávce provzdušňující přísady a stejné době míchání čerstvého betonu klesá obsah vzduchu. Z těchto důvodů je potřeba upravit dávku provzdušňující přísady směrem nahoru tak, aby bylo dosaženo požadované hodnoty obsahu vzduchu v čerstvém betonu. Je potřeba během doby betonáže průběžně měřit obsah vzduchu podle plánu kontrolních zkoušek požadovaných investorem stavby.

2. 1.5 Druhy cementů

Vliv druhu cementu na vytvářející se systém vzduchových pórů je nesporný, každý dodavatel cementu však musí být posuzován zvlášť. V zásadě jsou v tomto případě nejlepší zkušenosti s portlandským cementem (CEM I). V současné době výrobci betonu používají jak cementy CEM II/A-S (CEM II/B-S) s příměsí strusky tak CEM II/A-L (CEM II/A-LL) s příměsí vápence.

2. 1.6 Příměsi do betonu

Příměsi do betonu, obzvláště popílek z černého uhlí, se k výrobě provzdušněného betonu nedoporučují. Absorbci na povrchu částic vedou jak se zdá ke zhoršení systému vzduchových pórů.

Při použití křemičitých úletů při odpovídajícím nižším vodním součiniteli (v/c) může být upuštěno od použití provzdušňovací přísady. Tyto betony jsou díky své vynikající hustotě také bez umělých vzduchových pórů odolné proti mrazu a rozmrazovacím prostředkům. Před použitím je třeba provést průkazní zkoušky.

2. 1.7 Doba a pořadí dávkování

Správný okamžik přidání provzdušňovací přísady je zvlášť důležitý. Přidání provzdušňovací přísady by se mělo uskutečnit až po smáčení směsi. Ideálním způsobem by mělo být krátké předmíchání s cca 2/3 dávky vody a hned potom dávkovat provzdušňovací dávkování vody. Pokud by byl použit plastifikátor nebo superplastifikátor (plastifikační přísada s vysokým účinkem), měly by být tyto předány až po provzdušňující přísadě a podle možnosti nejdříve zamíchat jen s provzdušňovací přísadou. V praxi jsou většinou dávkovány provzdušňující přísady spolu s plastifikačními přísadami.

2. 1.8 Složení směsi

K výrobě provzdušněného betonu je nezbytné vhodné složení směsi s dostatečným množstvím jemné malty (zrnitost $< 0,125$ mm a voda), aby v této jemné maltě bylo uloženo mezi 40 - 60 l/m³ vzduchových bublinek.

Pokud je obsah jemných podílů příliš malý, nedá se umístit dostatečné množství vzduchu a pokud je příliš velký, bude celá směs nestabilní a může dojít opět k úniku vzduchu.

V závislosti na složení směsi, se mění také podíl vlastního vzduchu, zpravidla je mezi 1 a 2 % objemu (10 - 20 l/m³). Mohou se však vyskytovat také značně vyšší podíly vlastního vzduchu až do 3 % objemu. Toto množství vzduchových pórů vstupuje přirozeně přímo do obsahu veškerého vzduchu po přidání provzdušňovací přísady a neobsahuje zpravidla žádný vzduch ve formě mikropórů (účinný vzduch). Tento podíl přirozeného vzduchu by měl být co možná nejnižší.

2. 1.9 Doba zpracování

Podle příslušných předpisů [11] by měla být doba od výroby do zpracování provzdušněného betonu co možná nejkratší.

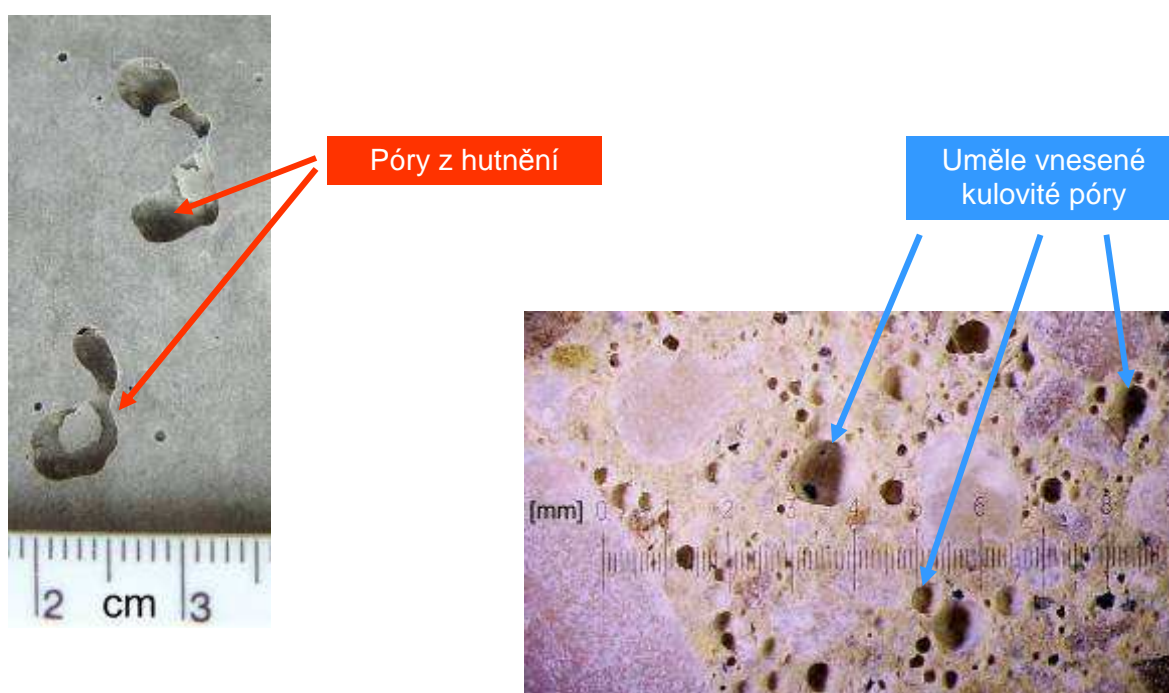
Nemělo by se vyskytovat delší časové rozpětí než 60 min. Množství veškerého vzduchu poklesne zpravidla s prodlužující se dobou před zpracováním, charakteristické vlastnosti vzduchových pórů však neklesají u průmyslově vyráběných betonů s dobrým systémem vzduchových pórů.

Podle měření v konkrétním případě AVA přístrojem (popis přístroje a průběhu měření v kapitole 3.1.3.).

Obsah veškerého vzduchu klesá o 1,3 % objemu, avšak důležitější obsah mikropórů A_{300} uniká jen o 0,2 % objemu

2. 1.10 Zpracování provzdušněného betonu

Při dopravě čerstvého betonu dochází k uvolňování a úniku vzduchových pórů. Na stavbě bývají používány převážně ponorné vibrátory. Příliš intenzivní hutnění, především ale bez stejnoměrného pohybu vibrátoru, se může velmi nepříznivě projevit na systému vzduchových pórů. Při hutnění pomocí vibrátoru může dojít ke snížení obsahu vzduchu v čerstvém betonu a proto hutnění musí být prováděno s ohledem na konzistenci čerstvého betonu a účinnost vibrátoru. Ke ztrátě účinného vzduchu vibrací téměř nedochází a pokud ano, jsou to ty větší vzduchové póry.



Obrázek 13. Ukázka pórů vzniklých při hutnění čerstvého betonu a póry uměle vnesených pomocí provzdušňující přísady

To samé platí u hutnění příložnými vibrátory, které se užívají převážně při výrobě prefabrikovaných dílců.

2. 1.11 Ošetřování po uložení čerstvého betonu

Vhodné a dostatečné ošetření povrchu betonu je důležité proto, aby se zabránilo předčasnému vysychání. Vysušením povrchu vznikají nežádoucí tahová, nebo tlaková

napětí, která vedou ke vzniku deformací a smršťovacích trhlinek. Vlhké ošetřování zajistí dostatečnou hydrataci cementu na povrchu betonu a zajistí trvanlivost betonu.

Množství odpařené vody z povrchu betonu závisí na povětrnostních podmínkách: teplotě a relativní vlhkosti vzduchu a rychlosti větru.

2. 2 Shrnutí a doporučení

Provzdušněné betony mají ty nejvyšší nároky na technologii. Množství činitelů ovlivňujících tvořící se systém vzduchových pórů a protichůdné vlivy znesnadňují stabilitu výroby. Je důležité věnovat pozornost výběru vhodných materiálů. A to jak použití vhodného typu cementu, kameniva s dostatečnou mrazuvzdorností a hlavně typu používané provzdušňující přísady. Návrh receptury musí být takový, aby případný vliv zakolísání kvality jednotlivých složek nevedl k výrobě nekvalitního betonu.

Znalost a pozorování uvedených faktorů umožňuje navrhování a výrobu provzdušněných betonů. Použitím AVA - přístrojů (kapitola 3.1.3.) jsou právě již u průkazných zkoušek poskytnuty možnosti optimalizace.

3 Popis zkoušek měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu

3.1 Měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu tlakovou metodou

Vlastní měření se provádí podle normy ČSN EN 12350 – 7 Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu tlakové metody [7].

Předmět normy: Ve výše uvedené normě jsou uvedeny dva způsoby měření obsahu vzduchu v čerstvém ztuhnutém betonu z hutného, nebo těžkého kameniva o maximální velikosti zrn velikosti zrn 63mm.

3.1.1 Měření obsahu vzduchu tlakoměrnou metodou

Podstata zkoušky :

Obsah vzduchu v čerstvé betonové směsi se zjišťuje pomocí přístroje k měření obsahu vzduchu poměřením známého obsahu vzduchu a známého tlaku v uzavřené nádobě s neznámým objemem vzduchu ve vzorku čerstvého betonu použitím Boyle - Mariottova zákona.

Odběr vzorku

Vzorek čerstvého betonu se získá postupem podle ČSN EN 12350-1[8]. Před prováděním zkoušky se vzorek znovu promíchá.

Plnění nádoby a ztuhňování betonu

Pomocí lopatky se nádoba naplní betonem tak, aby se odstranilo co největší množství vzduchových dutin. Beton se do nádoby plní ve třech vrstvách přibližně stejné tloušťky. Ihned po uložení vrstvy do nádoby se beton ztuhne tak, aby se dosáhlo úplného ztuhnutí bez nadměrné segregace a bez odlučování vody. Každá vrstva se ztuhne jedním z dále uvedených způsobů:

- a) zhutňování ponorným vibrátorem
- b) zhutňování na vibračním stole
- c) Zhutňování propichovací nebo zhutňovací tyčí

Postup zkoušky a uveden v normě ČSN EN 12350-7 [7]. Popis přístroje je obsažen v Příloha 2.

Obrázek 14. Zařízení na měření obsahu vzduchu od firmy Testing



Obrázek 15. Zařízení na měření obsahu vzduchu od firmy ELE International



Obrázek 16. Zařízení na měření obsahu vzduchu od firmy ELE International



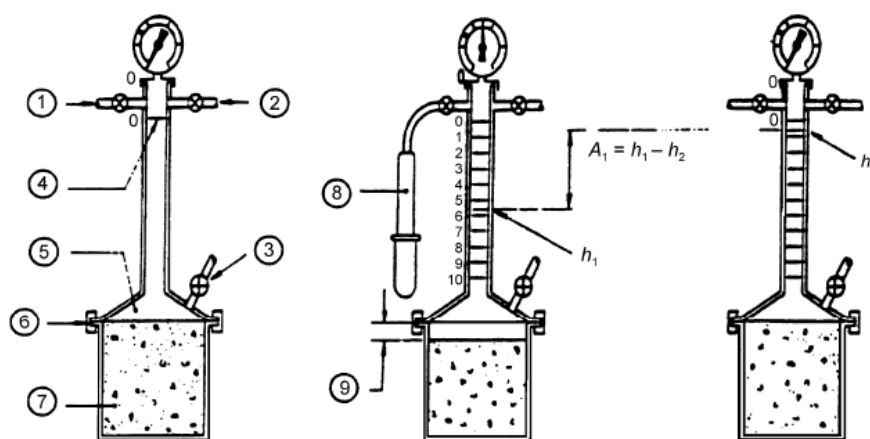
3.1.2 Měření obsahu vzduchu metodou vodního sloupce

Podstata zkoušky

Nad vzorek ztuhlého betonu se známým objemem, uložený v uzavřené nádobě, se nalije do předem stanovené výšky voda. Nad vodní hladinu se zavede předem stanovený tlak vzduchu. Snížení objemu vzduchu ve vzorku betonu se měří jako objem odpovídající pozorovanému poklesu hladiny vodního sloupce. Stupnice vodního sloupce je kalibrována v procentním podílu vzduchu ve vzorku betonu.

Zkušební zařízení

Měřicí přístroj s vodním sloupcem, je zobrazen Obrázku 17.



Obrázek 17. Měření obsahu vzduchu metodou vodního sloupce

Legenda k obrázku: a) nulový tlak b) systém při tlaku P c) stav po uvolnění z tlaku P na nulový tlak

- 1) jednosměrný (zpětný) ventil 6) svorka
- 2) odvzdušňovací ventil 7) beton
- 3) odpouštěcí/napouštěcí ventil 8) vzduchová hustilka
- 4) značka 9) pokles povrchu betonu působením tlaku
- 5) voda
- h_1 (čtení při tlaku P)
- h_2 (čtení při nulovém tlaku po uvolnění tlaku P)

Prostředky na zhutnění betonu

Odběr vzorku

Vzorek čerstvého betonu se získá postupem podle ČSN EN 12350-1 [8]. Před prováděním zkoušky se vzorek znovu promíchá.

Způsoby zhutnění čerstvého betonu

- a) zhutňování ponorným vibrátorem
- b) zhutňováním na vibračním stole
- c) Zhutňování propichovací nebo zhutňovací tyčí

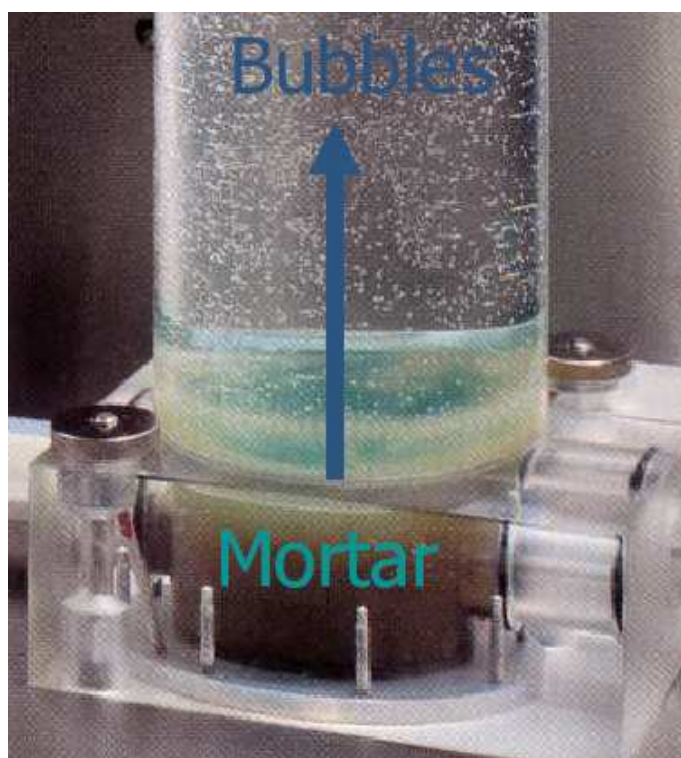
Postup zkoušky a uveden v normě ČSN EN 12350-7 [7].

3.1.3 Měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu pomocí přístroje Air void analyzer (AVA)

Podstata zkoušky:

DBT AVA analyzátor byl vyvinutý pro stanovení parametrů vzduchových pórů v čerstvém betonu dle ASTM C 457[12]. Testovací přístroj určí obsah a velikost vnesených vzduchových pórů a tak umožní stanovit součinitel prostorového rozložení, specifický povrch a obsah vneseného vzduchu do velikosti pórů 2 mm. Podstata zkoušky je průchod vzduchových bublin sloupцем kapaliny. Celkové rozložení pórů se vypočte na základě záznamu objemu vzduchu za čas, kde platí, že velké bubliny stoupají rychleji.

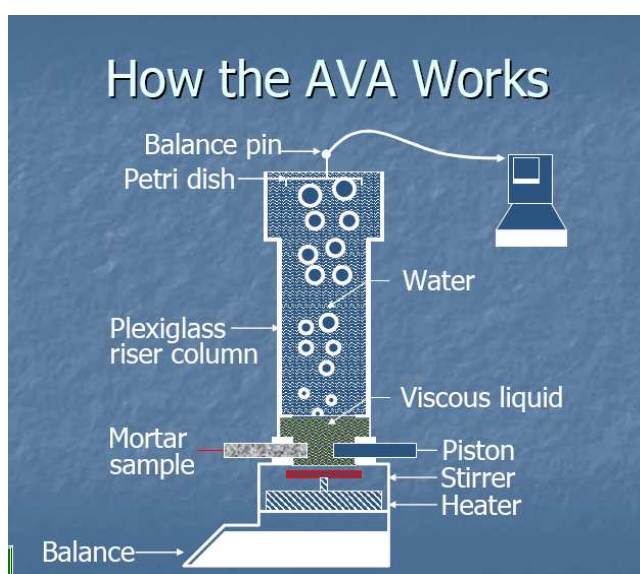
Obrázek 18 Prostup vzduchových bublin krátce po začátku zkoušky



Obrázek 19 Uvolněné vzduchové póry zachycované na vážící misce



AVA analyzátor byl vyroben firmou DANSK BETON TEKNIK A/S (DBT) v 80. letech 20. století. Prvních pár let byl analyzátor používán firmou DBT a několika dalšími dánskými partnery. V roce 1993 byl analyzátor patentován. Od roku 1993 byl komerčně využíván v mnoha Evropských zemích (Dánsko , Švédsko, Island, Německo, Belgie, Česko, Švýcarsko, Itálie, Španělsko) a také v USA, Kanadě a Japonsku. Přístroj je využíván dodavateli betonu, výrobcí přísad do betonu a výzkumnými ústavy. Zpracování a vyhodnocení dat je možné i za použití běžného počítače. Program pro zpracování dat je určený pro prostředí Microsoft Windows 95 a vyšší verze. Proto mohou uživatelé využít vlastní počítače a tiskárny. Uživatelé mohou archivovat stará data, porovnávat starší výsledky s novými.



Obrázek 20. Přístroj AVA (Air void analyzer) řez přístrojem

Obrázek 21. Přístroj AVA (Air void analyzer) kompletní sestava



Postup zkoušky:

Před zahájením zkoušení betonu, je důležité, aby byl přístroj dostatečně dlouho před zkouškou sestavený a zapnutý (normálně postačuje 30 minut). Také je důležité, že je váha ve vrchní části přístroje pohyblivá a uvolněná.

Když je váha zapnutá, elektronické součásti se začínají zahřívat. Před dosažením konstantní úrovně teploty všech součástí váhy, má váha sklon k odchylkám. Když je váha vynulovaná, display zobrazuje 0.00. Když není teplota všech součástí váhy stejná, zobrazovaná hodnota se pohybuje, jak váha automaticky hledá k udržení nulový bod. Krátké vážení se studenou váhou je také možné. Nicméně, když břemeno zůstane na váze, váha se bude zobrazovaná hodnota pohybovat .

Pro zjištění toho, že teplota váhy je stabilní, zatížíme váhu zhruba 2g (např. zátkou pro fixaci váhy). Po vynulování stupnice se břemeno odstraní. Váha nyní ukazuje přibližně -2g. Jakmile se stupnice neodchýlí o více než 0,01 g ve 4 minutách, přístroj může být použit. Standardní doba je ½ hodiny, je-li přístroj velmi studený trvá to déle.

Přístroj nemá být uložen při nízké teplotě, jinak se může kondenzovat vlhkost v elektronických částech přístroje.

Odstranění vzduchových bublin

Je velmi důležité, že je používána destilovaná voda. V této spojitosti je potřebné zdůraznit následující poznámky: Voda obecně obsahuje jisté množství vzduchu. Množství vzduchu závisí na tlaku a teplotě. Je-li voda odebrána z vodovodního řádu, obsažené množství vzduchu se z části uvolní díky změně tlaku z 6-8 atmosfér na asi 1 atmosféru.

Je-li teplota vody zvýšena o 8-20 stupňů C, uvolní se další množství vzduchu. Uvolnění vzduchu zásluhou teplotní změny trvá relativně dlouho a voda by měla být skladována při přibližně 20°C minimálně 12 hodin před použitím.

Je-li destilovaná voda ochlazená (například při skladování v autě přes noc) začne absorbovat vzduch. Jestliže je voda po ochlazení ohřívána jen krátkou dobu, vzduch bude uvolněn ve zkušebním sloupci během zkoušky a naruší výsledky.

Když není voda odvzdušněna dostatečně, vytvoří se bublinky vzduchu na vnitřní straně zkušebního sloupce a na vztakovém sklíčku váhy. Vzduchové bublinky utvořené na vztakovém sklíčku váhy ovlivňují výsledek zkoušky. Obsah vzduchu nebude znatelně ovlivněn, nicméně jsou-li vzduchové bublinky uvolněny během poslední části měření, může být významně ovlivněn specifický povrch.

Proto je důležité, aby voda byla uložena v přibližně 20°C minimálně 12 hodin před měřením.

Teplota zkušební lázně

Také viskozita speciální modré kapaliny (glykolu) je závislá na teplotě. Je důležité, aby bylo měření provedeno při správné teplotě, to je v rozmezí 21 – 25°C.

Voda a speciální kapalina se zahřívají v připravené nádobě . Jestliže je teplota okolí nízká , cílová teplota obou kapalin má být přibližně 24°C . Je-li teplota okolí vysoká, cílová teplota obou kapalin má být 21°C .

Teplota ve válci přístroje, musí být také mezi 21 – 25°C. To je zajištěno naplněním zkušebního válce kapalinou o vhodné teplotě. Úprava teploty vody použité ve zkušebním válci ke zkoušení je důležitá, protože topné tělísko ve zkušebním válci je určené jen k udržování teploty , nikoliv k ohřívání kapalin. Použití výkonnějšího ohřívacího tělíska by způsobilo víření modré kapaliny a narušení vystupování bublin.

Je důležité, aby odebraný vzorek byl reprezentativní a správně odebraný.

Aby byl výsledek z měření přístrojem na čerstvém betonu srovnatelný s měřením na ztvrdlém betonu, musí být odebraný vzorek z čerstvého a ztvrdlého betonu stejným způsobem. To znamená, že oba vzorky jsou přepravovány, odebrány a ošetřovány stejným způsobem.

Poznámka : struktura vzduchu v betonu je jiná ve stopě po vibrátoru a jiná mezi stopami.

Pro vzorky odebrané z převibrovaného betonu je důležité zajistit, aby byl odstraněn všechen šlem z povrchu betonu ještě před zkoušením. Šlem je méně viskózní než beton a proto se bude snadněji vlévat do drátěného košíku než malta. Potom není vzorek malty reprezentativní a výsledek není vypovídající. Beton musí být zhutněn přiměřeně konzistenci, ne více. Snadněji zpracovatelný beton se má vibrovat jen několik vteřin .

Odebraný vzorek by neměl být vystaven přílišným otřesům a vibracím.

Procedura odebrání vzorku zabere 5 – 10 vteřin a drátěný košík se plynule naplní za neustálého spouštění košíku. Při odběru velmi suchého betonu může být použitý vibrační stolek. Je-li vzorek odebraný v terénu, má být vibrátor vhodně vzdálen od místa odběru .

Když očekávaný obsah vzduchu v maltě z každého vzorku překračuje 15 % (10 % pro beton), má být velikost vzorku zmenšena odpovídajícím poměru. Jinak může množství bublin způsobit víření v modré kapalině. To bude narušovat zvedání vzduchových pórů a tak ovlivňovat výsledek.

Stanovení výsledku

Je-li zkoušen velmi suchý beton, je důležité zjistit (po ukončení testu), jestli byl vzorek malty na dně úplně rozptýlen a nejsou-li na dně přítomny hrudky malty. Jestliže veškeré částičky malty nejsou rozptýleny, je naměřený obsah vzduchu příliš malý. To znamená, že naměřený obsah vzduchu je obsahem vzduchu pouze v rozptýlené části malty.

Specifický povrch bude nicméně správný pokud naměřený obsah vzduchu bude mezi 3,5 – 10 % . Jestliže část malty není rozmíchána, bude také spacing faktor příliš malý, protože je počítaný přímo z obsahu vzduchu a měrného povrchu pórů.

Výsledky měření AVA :

Výstupy získané pomocí přístroje Air void analyzer jsou uvedeny v ukázkových protokolech z měření v Příloze č.1. Jedná o hodnoty Spacing faktoru L – součinitele prostorového rozložení vzduchu, obsahu účinného vzduchu A_{300} pod 0,3mm, specifického povrchu α .

Obrázek 22. Odběr vzorku čerstvého betonu



Obrázek 23. Odběr vzorku čerstvého betonu v laboratoři



Obrázek 24. Příprava destilované vody o teplotě mezi 21°C -25°C



Obrázek 25. Aplikace glykolu do nádoby s odstraněnými vzduchovými bublinami



Obrázek 26. Umístění očištěného vzorku do zkušebního zařízení



Obrázek 27. Display váhy během zkoušky s hodnotou uvolněného vzduchu



3.2 Shrnutí porovnání metod zkoušek

Využití jednotlivým metod zkoušek

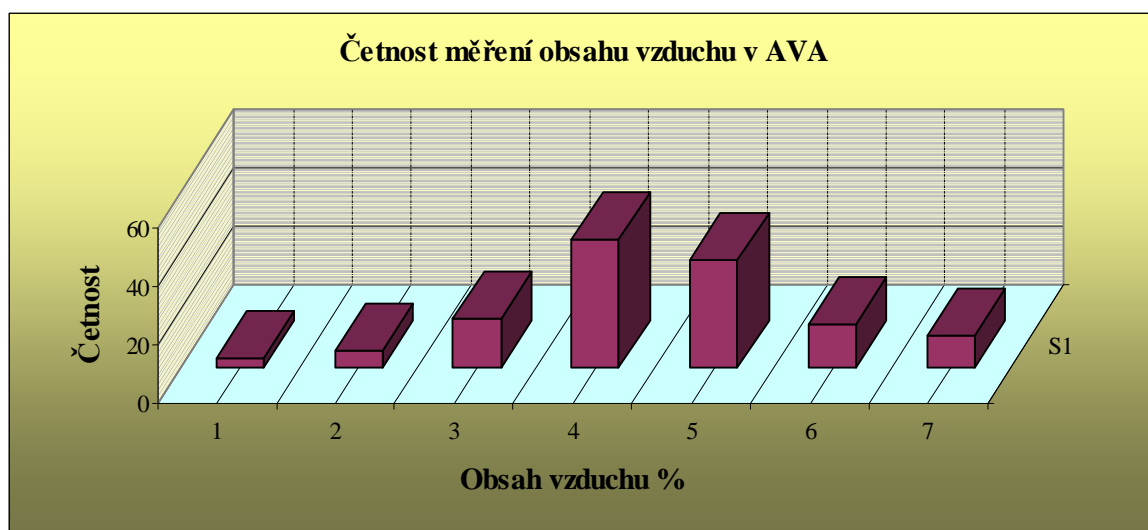
Zkušební metody uvedené v normě ČSN EN 12350-7 [7] lze použít samostatně. V současné době je převážně používána Tlaková metoda. Tato metoda je vhodná pro měření jak v laboratorních podmínkách tak při zkouškách v terénu. Naměřené hodnoty obsahu vzduchu jsou uznávány jako platné výsledky při porovnávání výsledků získaných různými akreditovanými laboratořemi. Zařízení používaná ke zkouškám obsahu vzduchu jsou v pravidelných intervalech ověřována a v případě pochybností o správnosti měření je lze jednoduchou metodou překontrolovat.

Měření vlastností vzduchu pomocí přístroje AVA (Air void Analyzer) je doplněním měření obsahu vzduchu tlakovou metodou. Pomocí tohoto zařízení lze vytvořit obrázek o složení a množství vzduchovým pórů v čerstvém betonu. Pomůže při výběru vhodného typu provzdušňující přísady, optimální doby míchání potřebné pro tvorbu potřebných vzduchových pórů. Měření se může uskutečnit při návrhu průkazných zkoušek v laboratořích a je možné ho provádět v provozních podmínkách, na výrobních prefabrikátů, na betonárnách vyrábějících transportbeton i na stavbách přímo z konstrukce, která je už po vibrování a nejlépe vystihuje vlastnosti čerstvého betonu.

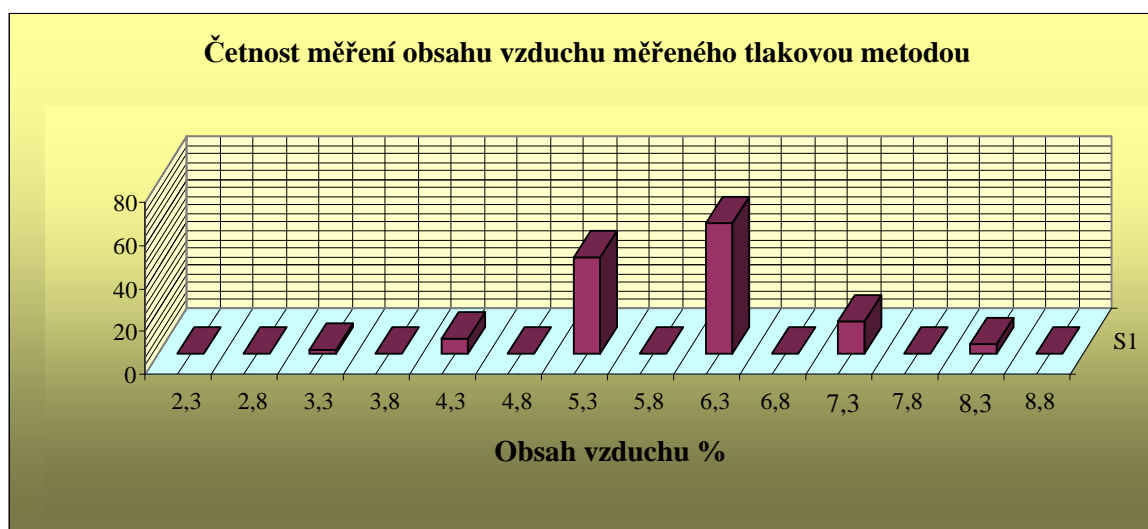
4 Porovnání metod měření vzduchu

Pro další porovnání metod měření vzduchu byla zvolená Tlaková metoda podle normy ČSN EN 12350-7 [7] a metoda měření obsahu vzduchu pomocí AVA přístroje. Od porovnání měření obsahu vzduchu Metodou vodního sloupce bylo upuštěno pro absenci výsledků z měření. Všechny zkušební laboratoře vzhledem k rychlosti a pracnosti měření používají tlakovou metodu.

Pro porovnání byl použit soubor měření provedených v laboratoři. Jednalo se o zkoušky provzdušněných betonů měřených tlakovou metodou a zároveň měřených pomocí přístroje Air void analyzer (AVA). Soubor obsahoval 135 výsledků obou měření.



Graf 1. Četnost výskytu hodnot naměřeného vzduchu pomocí přístroje AVA



Graf 2. Četnost výskytu hodnot naměřeného vzduchu tlakovou metodou

Při zkouškách byly zjištěny rozdíly v naměřených hodnotách a to jak v kladné, ale i záporném směru. Celkový obsah vzduchu naměřený na tlakovém hrnci neodpovídal hodnotám množství vzduchu do velikosti 2mm změřeném pomocí přístroje AVA. Hodnoty naměřených hodnot a jejich vzájemné rozdíly jsou uvedeny v tabulce 2. Rozdílné hodnoty zjištěné při měření se mohly získat nesprávným odběrem vzorku pro analýzu pomocí AVA, nebo neodborným měření obsahu vzduchu. Jednotlivé histogramy výskytu naměřených hodnot obsahu vzduchu pomocí tlakové metody, obsahu vzduchu z přístroje AVA a jejich rozdíl jsou uvedeny v Příloze 4 a 5.

5 Závěr

V současné době není stále vyřešena otázka problematiky opakovaného zkoušení provzdušněných betonů. Neexistuje korelace mezi obsahem vzduchu v čerstvém betonu (měření tlakovou metodou) a charakteristikou vzduchových pórů v čerstvém betonu (Spacing factor) a odolností betonu proti působení mrazu a chemických rozmrazovacích látek. Řešením problému bude sledování vztahů mezi obsahem vzduchu v čerstvém betonu, hodnotou spacing faktoru a obsahem účinného vzduchu v čerstvém betonu, hodnotou spacing faktoru a obsahem vzduchu na ztvrdlém betonu a odolností betonu proti mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám.

Při použití tlakové metody měření obsahu vzduchu je třeba stanovit metodiku měření a upřesnit jednotlivé kroky těchto postupů. Musí se určit čas odběru čerstvého betonu, způsob hutnění čerstvé betonové směsi podle požadované konzistence a místo odběru – z konstrukce po veškeré dopravě. K těmto hodnotám, lze přidat měření parametrů vzduchu v čerstvém betonu a výrobu vzorků pro další zkoušky na ztvrdlém betonu. Při získání databáze výsledků bude možnost sledování závislostí mezi jednotlivými metodami.

Seznam použité literatury

- [1] Pytlík, P.: Technologie betonu. VUT Brno, 2000, 390 stran, ISBN 80-214-1647-5
- [2] Svaz výrobců betonu ČR: Speciální betony, II. vydání 2004
- [3] Doné P., Kučera J.: Technologie betonu a maltovin, VŠB-TU Ostrava, 2001
- [4] T. Sebök: Přísady a přídavky do malt a betonů, SNTL 1985
- [5] Pierre – Claudie Aitcin: Vysokohodnotný beton, EBS 2005

Použité normy

- [6] ČSN EN 206-1, Z3 – Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - 2008
 - [7] ČSN EN 12350-7 Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody
 - [8] ČSN EN 12350-1 Zkoušení čerstvého betonu – Část 1: Odběr vzorků
 - [9] ČSN P CEN/TS 12390-9 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 9: Odolnost proti zmrazování a rozmrazování – Odlupování
 - [10] ČSN EN 480-11 Přísady do betonu, malty a injektáží malty – zkušební metody – Část 11: Stanovení charakteristik vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu.
 - [11] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, Kapitola 18, Beton pro konstrukce
- Zahraniční normy:
- [12] ASTM C 457: Petrographic examination
 - [13] ASTM C 231: Pressure Method
 - [14] ASTM C 173: Volumetric Method - Air
 - [15] AASHTO T 199: Chace Indicator – Air
 - [16] ASTM C 138: Gravimetric Method

Seznam obrázků

Obr. 1. Kapalinou naplněné kapilární póry v cementové matrici.....	6
Obr. 2. Tlakem mrazu vznikající trhliny v cementové matrici.....	6
Obr. 3. Zvětšení průměru kapiláry kulovým pórem.....	6
Obr. 4. Porušení povrchu konstrukce mrazem.....	6
Obr. 5. Řez strukturou betonu.....	7
Obr. 6. Základní typy provzdušňovadel.....	8
Obr. 7. Měření obsahu vzduchu... ..	8
Obr. 8. Graf obsahu účinného vzduchu	9
Obr. 9. Graf distribuce vzduchových pórů	10
Obr. 10. Součinitel prostorového rozložení.....	10
Obr. 11. Vliv doby míchání na obsah vzduchových pórů.....	14
Obr. 12. Vliv teploty na obsah vzduchu	15
Obr. 13. Ukázka pórů v beton	18
Obr. 14. Hrnc na měření obsahu vzduchu.....	21
Obr. 15. Hrnc na měření obsahu vzduchu.....	22
Obr. 16. Hrnc na měření obsahu vzduchu.....	22
Obr. 17. Měření obsahu vzduchu metodou vodního sloupce.....	23
Obr. 18. Prostup vzduchových pórů kapalinou	25
Obr. 19. Vážící miska se vzduchovými póry.....	25
Obr. 20. Řez AVA přístrojem	26
Obr. 21 Sestava AVA přístroje.....	27
Obr. 22 Odběr vzorku.....	31
Obr. 23 Odběr vzorků v laboratoři.....	31
Obr. 24 Příprava roztoku.....	32
Obr. 25 Příprava glykolu.....	32
Obr. 26 Umístění vzorku do přístroje.....	33
Obr.27 Display váhy během zkoušky.....	33

Seznam tabulek

Tab. 1. Stupně vlivu prostředí	12
--------------------------------------	----

Seznam grafů

Graf 1. Četnost výskytu hodnot z AVA.....	36
Graf 2. Četnost výskytu hodnot naměřených tlakovým hrncem.....	37

Seznam příloh

Příloha 1. Protokol z měření parametrů vzduchu pomocí AVA.....	38
Příloha 2. Návod k přístroji na měření obsahu vzduchu - Testing	39
Příloha 3. Tabulka naměřených hodnot obsahu vzduchu.....	40
Příloha 4. Graf histogramu rozdílu naměřených hodnot na hrnci a v AVA.....	41
Graf histogramu měření obsahu vzduchu do 2mm pomocí AVA	41
Příloha 5. Graf histogramu rozdílu naměřených hodnot na hrnci a v AVA.....	42